

ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

Пермяковой Инги Евгеньевны

«Эволюция структуры, свойства аморфных сплавов и аморфно-нанокристаллических композитных материалов при внешних воздействиях», представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности

1.3.8 – физика конденсированного состояния

В нынешних реалиях наблюдается стойкая тенденция жестко регламентированных запросов к уровню свойств функциональных и конструкционных материалов. Ведутся интенсивные исследования по вопросам улучшения набора свойств, а также получению принципиально новых гибридных материалов, привлекая высокоэффективные технологии синтеза и инновационных обработок. В рамках этого, представленная диссертационная работа Пермяковой И.Е. весьма актуальна, т.к. посвящена изучению взаимосвязи структурно-фазовых превращений и свойств в аморфных сплавах (АС) при воздействии внешних факторов и разработке принципов создания аморфно-нанокристаллических композитов (АНК) с уникальным сочетанием свойств.

Надо отметить, что АС обладают рядом преимуществ при сравнении с кристаллическими аналогами: повышенное удельное сопротивление, высокий уровень магнитомягких характеристик, впечатляющая твердость, прочность, хорошая стойкости к коррозии. Благодаря этому АС нашли достойное применение в радиоэлектронной технике и приборостроении. Расширение спектра их применения связано с возможностью контролируемого перехода из аморфного в аморфно-кристаллическое, микро- и нанокристаллическое состояния после различного рода воздействий для получения требуемых физических свойств.

В работе соискателем были получены 4 типа АНК: 1) в процессе частичной кристаллизации АС при отжиге; 2) при вариациях пространственно-распределённых зон лазерного воздействия по поверхности и по сечению лент АС, а также подбором параметров УФ лазерного облучения; 3) путём "пакетного" чередования слоёв аморфных лент разных по составу и свойствам и их последующего кручения под высоким давлением (КВД); 4) частично аморфизировав кристаллические наноламинаты Cu-Nb при КВД, сформированные предварительно аккумулялирующей прокаткой.

Методами механических испытаний, магнитометрии, электрохимии проведена комплексная оценка характера влияния печного отжига, лазерного облучения и КВД на механические свойства (пластичность, твёрдость, трещиностойкость, упругий модуль), магнитные свойства (коэрцитивную силу, намагниченность насыщения), сопротивление к коррозии и особенности деформации, разрушения АС и композитов. Проведено сопоставление трансформаций структуры с откликом свойств исследованных АС и АНК при данных воздействиях. Выявлены оптимальные режимы обработок, приводящие к наилучшему сочетанию структурных состояний и физико-механических свойств, полученных композитных материалов.

В диссертации Пермяковой И.Е. получены оригинальные результаты. Из них хочется выделить:

Установлены главные причины эффектов упрочнения композитов, полученных при отжиге АС, при объёмной доли кристаллов ≤ 0.5 : а) разница между модулями упругости аморфной и нанокристаллической фаз; б) взаимодействие полос сдвига с нанокристаллами, выделяющимися в аморфной матрице. Предложена классификация актов данного взаимодействия в АНК на основании анализа структурных ПЭМ-изображений: поглощение, огибание, первичная и вторичная аккомодация, перерезание, торможение.

Впервые обнаружен пластифицирующий эффект (возрастание параметра трещиностойкости) в области температур перехода в аморфно-нанокристаллическое

состояние для АС на основе железа и кобальта. Предложен механизм торможения трещин в окрестности наночастиц, обогащённой атомами металлоидов.

Обнаружены характерные видоизменения картин их деформации и разрушения при переходе из аморфного в кристаллическое состояние. На основании составленного с учётом соответствующих температурных интервалов «атласа» зон локального нагружения (наличие / отсутствие полос сдвига, трещин, их взаимное расположение) при разных нагрузках возможно дать приближённую экспресс-оценку структурного состояния сплавов.

Для группы АС реализован двухэтапный методический подход к лазерной обработке по принципу «численное моделирование для определения параметров лазерного воздействия → опытная реализация облучения по рассчитанным параметрам». Использование расчётных температурных полей при лазерном нагреве позволяет прогнозировать механические свойства, структурные изменения в АС в зависимости от их теплофизических свойств и энергетических характеристик лазерной установки.

Впервые методами ПЭМ высокого разрешения и РСА в композите на основе наноламинатов Cu-Nb после значительных степеней деформации при КВД ($N = 4$) впервые обнаружено образование областей с аморфной структурой, непосредственно связанных с межфазными границами. Установлено трехкратное увеличение микротвёрдости нанокompозитов Cu/Nb в процессе КВД.

Впервые для АНК, образованного из АС $Fe_{53.9}Ni_{26.5}B_{20.2}$ и $Co_{28.2}Fe_{38.9}Cr_{15.4}Si_{0.3}B_{17.2}$, с помощью взаимодополняющих структурных методов установлены три стадии эволюции его структурно-фазового состояния. На 1 стадии сплавы, деформируются достаточно независимо друг от друга, обеспечивая лишь механическое «сцепление» соседних слоёв. На 2 стадии реализуется межфазное взаимодействие в тонких приграничных областях с образованием боридных фаз, которое ответственно за эффект неаддитивного (синергического) упрочнения. Наблюдается частичное вихревое перемешивание, фрагменты слоистой структуры всё ещё сохраняются. На 3 стадии переносимые вихревые потоки вещества коагулируют вплоть до полного перемешивания и образования нового гибридного гомогенного многокомпонентного сплава.

Актуальность выбранной тематики, высокий научный уровень проведенных исследований, новизна и апробация результатов не вызывает сомнений. Все это подтверждено многолетней поддержкой грантами со стороны Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда с полным выполнением тематических планов в рамках отчетов по проектам соискателя.

Основные результаты работы в полном объеме освещены в публикациях соискателя – 5 монографиях и 46 статьях журналов из перечня рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, или входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования WoS и Scopus.

Научные положения и сформулированные выводы достаточно обоснованы и экспериментально проверены. Достоверность результатов диссертации подкреплена большим массивом экспериментальных данных, использованием широкого спектра исследовательского оборудования и программного обеспечения, глубоким анализом результатов в полном соответствии с современными концепциями физики конденсированного состояния и материаловедения

В качестве замечаний следует отметить, что

- 1) основные выводы по работе, приведенные в конце автореферата, можно было бы изложить в более краткой и лаконичной форме.
- 2) в автореферате отсутствует объяснение причин интересного явления - формирование вихрей при смешивании слоёв из аморфных сплавов в ходе мегапластической деформации в камере Бриджмена.

Сделанные замечания не умаляют совокупности достоинств работы соискателя.

На основании всего вышеизложенного могу утверждать, что рассматриваемая диссертация Пермяковой И.Е. «Эволюция структуры, свойства аморфных сплавов и

аморфно-нанокристаллических композитных материалов при внешних воздействиях» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная проблема – на базе системного исследования взаимосвязи «структура-свойства» для аморфных и нанокристаллических сплавов при действии внешних факторов (давлений, деформаций, облучения, температур и т.д.) разработаны научно-технологические основы получения аморфно-нанокристаллических композитных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками. Работа полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям и соответствует критериям п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор, Пермякова Инга Евгеньевна, достойна присуждения ей учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Член-корреспондент НАН Беларуси,
заведующий лабораторией
физики металлов ГНУ «ИТА НАН Беларуси»,
доктор технических наук
(специальность 05.03.01 – технологии и оборудование
механической и физико-технической обработки),
профессор

Рубаник Василий Васильевич

Государственное научное учреждение «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси»
210009 Беларусь, г. Витебск, пр. Генерала Людникова, 13
Тел.: +375 (212) 33-19-48 // (029) 6273547
E-mail: v.v.rubanik@tut.by // ita@vitebsk.by

Согласен на обработку персональных данных.

«15» августа 2023 г.

Подпись Рубаника В.В. удостоверяю:

Заведующий канцелярией



МП

Гуркова Е.И.